

天津大学

《计算机网络》课程设计报告



Web Server 的设计与实现

学 号 3022244290

姓 名 陈秋澄

学 院 智能与计算学部

专 业 计算机科学与技术

年 级 2022

任课教师 赵增华老师

2024 年 6 月 28 日

一、报告摘要

实验的总体目标是实现 HTTP/1.1 数据包解析及 HEAD、GET、POST 以及错误类型判断方法，实现 HTTP 并行请求和响应以及多个客户端的并发连接。协议设计是基于 HTTP/1.1 的标准文档。根据 RFC2616 中的定义，实现持久连接。修改 `echo_server.c` 等文件，将客户端发送的请求分成多个单独的请求，并按顺序依次处理，使用 `select` 函数使服务器能够同时处理多个并发客户端。主要实用测试结果是一个实现了 web server 服务器，可以并发处理多个客户端。全部通过了本地测试、浏览器测试和平台测试，其中第四周使用了 Apache 来进行性能分析，部分测试结果在实验报告中给出了相应的内容。

二、任务需求分析

2.1 文件架构分析

源文件主要由 `include`、`samples`、`src`、`static_site` 与 `Makefile` 五个文件夹组成，其中：

1. `include` 用来存放一些.h 文件。
2. `samples` 用于本地检验实验结果是否正确，采用了一些要求报文的样本。
3. `src`：储存 `echo_server`、`echo_client` 的源代码以及一些消息处理和解析界面(详细描述在功能模块的一部分)，其中 `lexer.l`、`parser.y`、`parse.c` 用于报文解析。
4. `static_site` 用于 GET 功能检验的静态浏览器网页。
5. `Makefile` 用于有效地编译、链接和运行整个 `socket` 项目。

2.2 实现 GET、HEAD 和 POST 三种基本方法

GET：请求指定的页面信息，并返回实体主体；

HEAD：类似于 GET 请求，但回复响应中没有具体内容，用于获取报纸头部信息；

POST：向指定资源提交数据处理请求（如提交表格或上传文件）。信息中包含数据。POST 请求可能导致新资源的建立和/或现有资源的修改。

2.3 每周任务分析说明

总的来说，本次实验要求我们能够实现正确分析客户端发送的请求包，并做出正确的响应；支持 HTTP 并行请求以及支持多个客户端并发访问。

1. 第一周需要实现简单 Echo Web Server，掌握 `lex` 和 `yacc` 在正确分析消息方

法，实现服务器对客户端各类消息的正确响应。第一周的主要任务是让我们熟悉编程环境以及 `socket` 的基础功能。

2. 第二周需要在第一周的基础上进一步细化服务器端的响应，改进服务器的功能，使其能够正确响应 HTTP/1.1 请求消息，并按照 RFC 2616 实现中的定义 HEAD、GET 和 POST 的持久连接（persistent connection），具体要求如下：

- (1) 若收到客户端发送的信息 GET, HEAD 和 POST 方法，服务器遵循 RFC2616 处理并响应该规定的信息。
- (2) 支持 4 种 HTTP/1.1 错误代码：400, 404, 501, 505 并且能够准确识别客户端信息并进行响应。
- (3) 妥善管理接收缓冲区，避免客户请求消息过长导致缓冲区溢出，即处理 Pipelining 请求过长以及 CGI 处理 POST 请求时潜在的大量参数传递导致的溢出情景。
- (4) 服务器可处理读写磁盘文件时遇到的错误(如不存在权限和文件、IO 错误等)。
- (5) 创建简化的日志记录模块，记录格式化日志。

总的来讲，第二周的任务是优化 server 处理框架，实现独立的消息处理和日志模块等，解耦和、模块化的编程框架还为后续的编程提供了便利及较好的可扩展性。

3. 服务器解析并发请求数的能力需要在第三周得到改进，具体要求如下：

- (1) 服务器可以连续响应客户端使用相同的服务器 TCP 同时发送多个请求 GET/HEAD/POST，即支持 HTTP pipelining。
- (2) 按服务器 RFC2616 规定的顺序处理 HTTP 并发请求。此外，对于 HTTP 如果服务器认为其中一个请求是错误的，并拒绝该请求，则服务器需要能够正确识别和分析并发的下一个请求。

4. 多个客户端的并发处理应在第四周实现，具体要求如下：

当服务器等待客户端发送下一个请求时，它可以同时处理来自其他客户端的请求，即服务器可以同时处理多个并发客户端。

将服务器能支持的最大连接设置为 1024(操作系统可用文件描述符数的最大值)。若一个客户端只发送了一半的请求，服务端应该继续为另一个客户端提供服务。

5. 选做任务 CGI

首先根据 RFC3875 以及 RFC2396 文档，实现 CGI 的请求。CGI 要求的处理主要取决于 URI 的不同，请求将用新的线程处理；这项任务的完成将标志着我们的服务器能够正确处理 POST 请求，并有能力作为后端程序与前端界面交互。虽然只是一个基础的界面，但至少通过我们的实现，我们将拥有非常基本的用户注册和登录接口的静态网页。

三、协议设计

3.1 总体设计

任务主要由请求响应模块、日志模块、pipeline 处理模块和并发处理模块等四个模块组成，其中：

并发处理模块：采用 `select()` 方法实现并发处理多个客户端的要求，即多个 server 可以支持多个连接，然后采用非阻塞的方式并发处理多个连接的要求，即每次顺序通过连接池，如果当前连接已准备就绪，则进行 `recv` 操作，并将接收到的信息交给 Pipeline 处理模块。该模块负责监控多个客户端的连接，接收和处理客户端的请求，并将请求交给相应的模块。

Pipeline 处理模块：实现 HTTP pipeline，逐一分析接收到的多个请求，并按接收到的顺序提交给请求响应模块。

请求响应模块：主要是对消息进行分析，并根据分析的信息进行响应；

日志模块：简化的日志记录模块，记录服务器的运行日志（包括请求信息、错误信息和其他关键操作等）。为了便于调试和跟踪，可以实现一个简化的日志记录模块来记录格式化的日志。格式是根据请求响应模块分析的信息和返回的响应代码将相关信息记录在日志文件中。

3.2 简单 echo web server 的设计

3.2.1 数据结构设计

1. HTTP 协议报文：

在传输过程中，HTTP 报文中是 16 进制的 ASCII 码，这些十六进制的数字经过浏览器或者专用工具（如 wireshark）的翻译可以得到 HTTP 报文的结构。HTTP 的请求报文包括：请求行(request line)、请求头部(header)、空行和请求数据(request data) 四个部分组成。HTTP 的响应报文包括：状态行，响应头，空行，数据(响应体)。

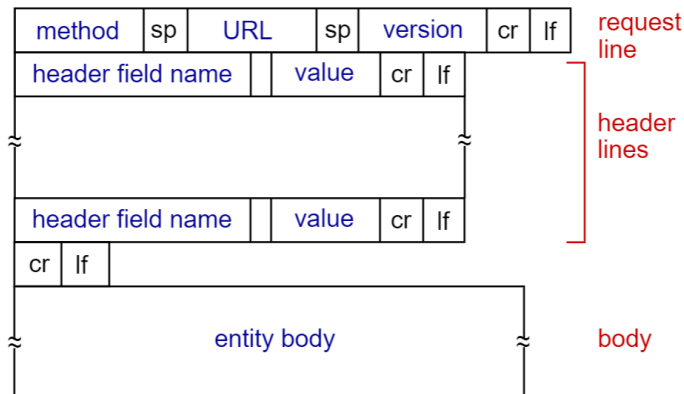


图 1 HTTP 请求报文的格式

2. 消息解析中的主要数据结构:

(1) Request_header: 用于存储 HTTP 请求头的首部字段名和值。

(2) Request: 用于存储 HTTP 请求消息的内容, 包括: HTTP 版本号、请求方法、URL 以及相应的请求头和请求头的数量。

(3) sockaddr_in: 用于记录 socket 的互联网地址, 包括 IP 地址和端口号。

(4) addrinfo: 用于保存 server 的相关信息, 包括: 输入 flag、协议族、socket 类型、socket 对应的协议、socket 地址长度、socket 地址等。

3. 响应报文的主要格式和结构:

HTTP 响应报告由三部分组成: 状态行、响应头部和响应正文。

(1) 状态行:

由协议版本、状态码、状态码描述三部分组成, 由空格分隔。

状态代码为 3 位数, 其中 200-299 状态代码表示成功; 300-399 状态代码指资源重定向; 400-499 状态代码指客户端请求错误; 500-599 状态代码指服务端错误 (HTTP/1.1 的信息状态码在 100-199 的范围内引入到协议中)。

(2) 响应头部:

响应头部为响应报文添加了一些附加信息:

表 1: 部分响应头部

名称	表示内容
Server	服务器应用程序的名称及版本
Content-Type	响应正文类型
Content-Length	响应正文长度
Content-Charset	响应正文所使用的编码
Content-Encoding	响应正文所使用的数据压缩格式
Content-Language	响应正文所使用的语种

(3) 响应正文: 要读取的数据。

4. 判断文件状态的主要结构: fd_set

fd_set 是一组文件描述字的集合, 它用一位来表示一个 fd 的状态是否可以读写或者访问。

3.2.2 协议规则设计

建立 HTTP 请求的完整过程: TCP 连接(之前可能有一次 DNS 域名解析);

三次握手建立 TCP 后，客户端向服务器发送请求命令，如 GET 等；客户端发送请求首部信息，然后发送空白行，GET 请求没有数据，POST 请求发送 body 数据；服务器收到上述信息后，开始处理业务，服务器开始响应；服务器返回响应头信息，发送 response header 之后，再发送一个空白行；然后服务器将数据发送到客户端；发送后，服务器四次挥手关闭 TCP 连接。

1. 请求消息的解析方法

从客户端发来的数据中获取请求信息，存储在 server 的缓存区中，调用 parse.c 中的 process 函数对消息进行解析，如果解析不出来说明格式有误返回对应提示，如果请求方式不是已知的三种给出无法实现的回应。

2. 接收缓冲区的设计

Server 的缓冲区已经定义好为 char buf[BUF_SIZE]作为接收缓冲区，我们又设置了一个 char *pbuf 作为发送缓冲区。同样在 echo_client.c 中有一个已设置好的 char buf[BUF_SIZE]作为接收缓冲区。

第一周实验暂不涉及日志记录模块的设计。

3. 消息解析方法：

消息解析主要由功能模块中用来进行词法分析的 lex.yy.c、lexer.l、用来解析信息规则的定义与信息的 parse.y、parse.c 以及定义解析信息相关接口函数的 y.tab.c、y.tab.h 这三大模块来实现。首先使用 lex 进行词法分析，按照 RFC 2016 中规定的数据类型来进行词法分析：将报文中的信息分为 cr、lf、sp、digit 等 16 个类型（完整代码见 lexer.l）。其中，parser.y 定义了解析由 lexer.l 定义的词法规则相关 token 的语法。例如以下的程序描述了一个关于请求头的语法定义，即一个请求开头，由 {"token"," 空格"," 文本"," 空格"," 文本"," 换行符"} 组成，且匹配到请求头时，要运行进行 request_line 有关代码。

接着由 yacc 来进行信息解析，yacc 通过 yyarse()（定义在 y.tab.c 中）来进行信息解析。首先根据 lex 分析定义的数据类型，然后根据 RFC 进行定义 2016 年 token、ows 和 text 的相应解析规则。然后按照 RFC 2016 定义请求行(request_line) 和请求头(request_header) 解析规则(详细代码在 parse 中)。此外，parse 函数通过调用 yyarse()函数实现对报文的解析，并存储在指定的 buff 中。

3.3 基本 HEAD、GET、POST 方法的设计

3.3.1 数据结构设计

1. HTTP 响应报文的格式

相关内容在 3.2.1 节已详细阐述。

2. 读取文件信息使用的主要数据结构：

结构体 stat：返回所访问文件的信息，如下表：

表 2: stat 结构体的主要成员及意义

名称	表示内容
----	------

st_dev	Device
st_ino	File serial number
st_mode	File mode
st_nlink	Link count
st_uid	User ID of the file's owner
st_gid	Group ID of the file's group
st_rdev	Device number
st_size	Size of file, in bytes
st_blocks	Number 512-byte blocks allocated
st_atim	Time of last access
st_mtim	Time of last modification
st_ctim	Time of last status change

可以使用 File mode 来判断文件的状态，如只读权限、修改权限、哪个用户有权限访问等。

3.3.2 协议规则设计

1. GET、HEAD 与 POST 方法及概述

- (1) GET: 请求指定页面信息，并返回实体主体。
- (2) HEAD: 只请求页面的首部。
- (3) POST: 请求服务器接受指定的文件作为标识 URL 的新从属实体。

总的来说，首先需要 Request* request 存储解析后的 HTTP 请求头部分，而 char contentlength 记录客户端 get 时，server 需返回实体主体的长度，char temp[100] 复制产生的时间信息 c 字符串以及几个记录时间的有关变量。

根据 request->http_method 字段的值判断是哪种请求方法：

1) 对于 POST 直接 return buff，echo 返回即可。

2) GET 必须返回请求页面的实体主体，并使用<time.h>在时间函数进行额外的日志信息追加，将获得的时间转换为所需的表示格式，然后将其转换为 c 字符串，并添加到返回缓冲区的 buff 中。所有其他需要输出的信息也可以在 buff 后不断添加。

也就是说，首先应成功获取 URL。当然如果失败，直接返回 404 的响应信息。然后判断文件是否存在，如果没有直接返回 404 错误代码的响应信息。然后打开文件，如果打开失败，直接返回 404 错误代码的响应信息。最后将"HTTP/1.1 200 OK\r\n" 将文件复制到缓冲区 buff 中，将阅读到缓冲区的文件与之拼接复制，最后将 buff 中的内容发送给客户端。HTTP 的 GET 方法流程图如下：

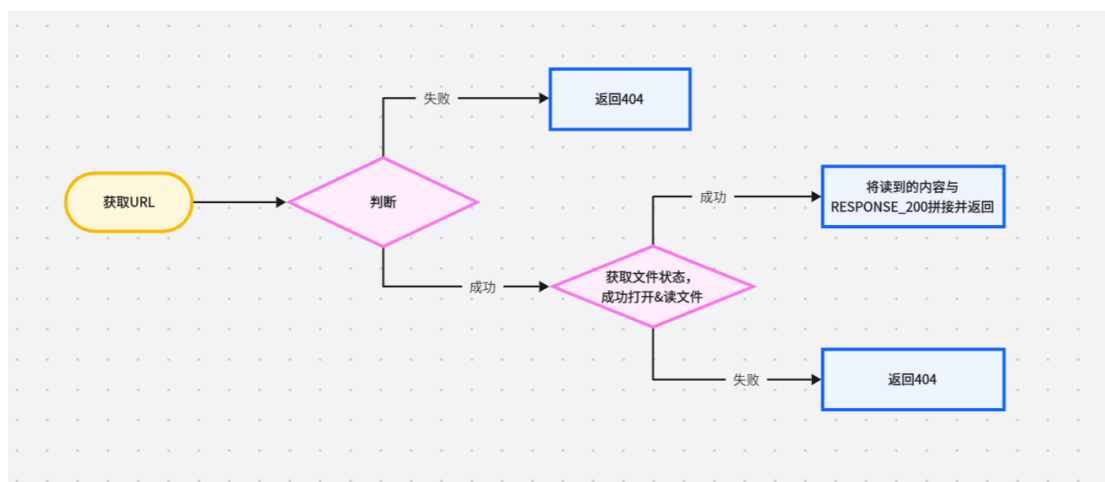


图2 HTTP GET 方法流程图

3) 对于 HEAD，返回请求页面的头部，同 GET 一样做字符串追加工作，但是其格式和内容更简洁，不用返回文件中的内容，因此相对容易实现。流程图如下：

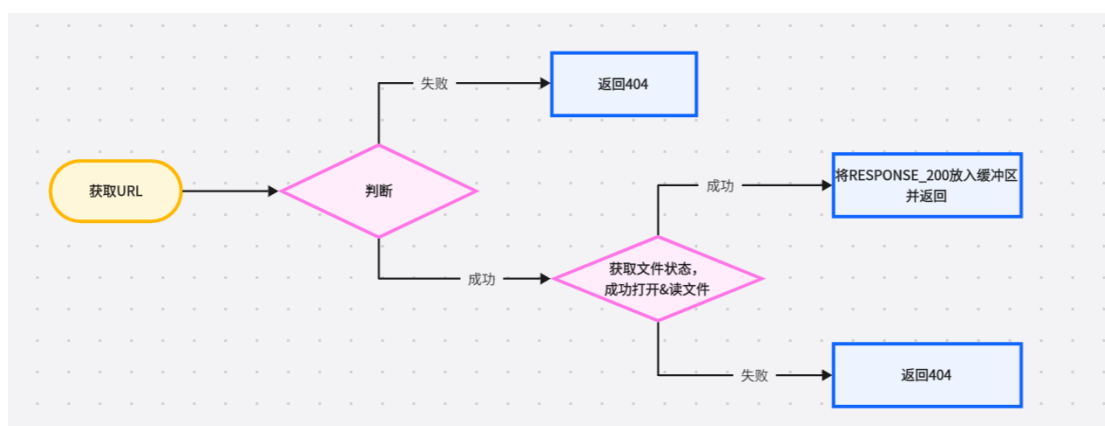


图3 HTTP HEAD 方法流程图

2. 四种请求异常对应的处理方式：

- (1) 400：解析失败，返回信息："HTTP/1.1 400 Bad request\r\n\r\n"。
- (2) 404：未找到请求内容，返回信息："HTTP/1.1 404 Not Found\r\n\r\n"。
- (3) 501：方法未实现，返回信息："HTTP/1.1 501 Not Implemented\r\n\r\n"。
- (4) 505：不支持 HTTP 版本，返回信息："HTTP/1.1 505 HTTP Version not supported\r\n\r\n"。

3. 关于获取 URL 的过程的阐述：

首先，判断分析的 request 中的 URL 是否为“\”。如果是，则表示需要使用根目录中的本地 URL。否则，则需要将其与剩余 URL 的最大长度进行比较。如果小于最大长度，则直接使用 request 中的 URL。如果大于，则表示用户所请求的 URL 过长，并直接返回 404 错误代码的响应信息。相关流程图将在 4.2 部分展示。

4. 接收缓冲区的设计

`char buf[BUF_SIZE]` 缓冲区用于临时存储从客户端接收到的数据。

在数据接收中，`recv` 函数用于从 `client_sock` 套接字接收数据，最多接收 `BUF_SIZE` 字节的数据并存储在缓冲区 `buf` 中。每次成功接收到数据后，调用 `process` 函数处理缓冲区中的数据。

关于数据处理部分，`process` 函数接收缓冲区 `buf` 及其大小 `size`，并调用 `parse` 函数解析 HTTP 请求。解析后的请求根据不同的 HTTP 方法（如 `GET`、`HEAD`）进行处理，并生成相应的响应。

然后向客户端发送响应，每次处理完接收到的数据后，使用 `memset` 清空缓冲区，以确保缓冲区中不残留旧的数据，防止影响后续的数据接收和处理。

5. 日志处理模块的设计

学习参考了 Apache 标准，实现有关日志输出（标准时间、服务器等信息），便于调试代码。

3.4 HTTP Pipelining 的设计

3.4.1 数据结构设计

1. 请求头部结构

为了实现 HTTP Pipelining，服务器需要解析每个并发到达的 HTTP 请求，并且处理每个请求的头部信息。本周实验在延续上周的消息解析形式的基础上，请求头部结构不变。请求头部结构应包括以下字段：

（1）请求行：

`method`：请求方法（`GET`, `HEAD`, `POST`）；

`uri`：请求的资源；

`http_version`：HTTP 版本（如 `HTTP/1.1`）。

（2）请求头部：

`Host`：请求的主机名；

`Content-Length`：请求体的长度；

`Content-Type`：请求体的类型；

其他必要的头部字段（如 `Connection`, `Accept`, `User-Agent` 等）。

（3）请求体：

包含 `POST` 请求时的具体数据。

2. HTTP 响应报文的格式

相关内容在 3.2.1 节已详细阐述。

3.4.2 协议规则设计

1. 什么是 HTTP Pipelining

HTTP Pipelining 是 HTTP/1.1 协议中的一种技术，允许客户端在同一个 TCP

连接上连续发送多个 HTTP 请求，而不必等待每个请求的响应。这意味着客户端可以在接收到前一个请求的响应之前发送下一个请求，从而实现请求的并发处理。

2. 设计思路

(1) 请求的解析与存储

设计服务器时，要能够解析客户端发送的连续请求。每个请求包括请求行、头部和可选的请求体，服务器需要正确解析这些部分，并将其存储在一个请求队列中，以便后续处理。

(2) 顺序处理请求

根据 RFC 2616 的规定，服务器必须按照请求到达的顺序处理并发请求。因此，我们需要一个请求队列来按顺序存储请求，然后依次处理。

(3) 关于错误处理机制

在处理并发请求时，如果某个请求出现错误，服务器需要能够正确识别并继续处理后续请求。这意味着服务器需要具备对单个请求出错后情况相关缓冲区以及指针，以具有继续解析和处理后续请求的能力。

(4) 请求处理与响应发送

每个请求需要依次处理，并生成相应的响应。响应也需要按请求顺序发送给客户端，保证客户端收到的响应顺序与发送请求的顺序一致。

3.5 多个客户端的并发处理的设计

3.5.1 数据结构设计

新增加变量 `int ready_num`，存储可读文件描述符的数量；
将 `fd_set readfds`，`testfds` 作为存储文件描述符的集合。

3.5.2 协议规则设计

1. select 函数的调用

`select()` 函数用于监控多个文件描述符，以查看哪些文件描述符可以进行读、写或有异常条件等 I/O 操作。同时可以让一个进程同时管理多个 I/O 操作而无需多线程或多进程，从而实现并发处理。

`select()` 函数通过阻塞进程，等待文件描述符集合中的某个文件描述符发生 I/O 事件来工作。它的基本工作原理如下：

- (1) 文件描述符集合：将需要监控的文件描述符加入到读、写、异常三个集合中。
- (2) 阻塞等待：调用 `select()` 函数，阻塞进程，直到集合中的某个文件描述符发生了指定的 I/O 事件。
- (3) 检查结果：`select()` 返回后，检查哪些文件描述符有事件发生，并对其进行相应处理。

2. 协议规则具体设计

使用 `select` 函数实现 IO 多路复用，监听完套接字后，将套接字的文件描述符添加到要监控的集合中，以检查是否有客户端向服务器发送数据。扫描所有文件描述符，判断文件描述符是否在 `set`。如果是并且是服务器套接字，

则表示为客户请求连接。当客户端 socket 中有处理数据请求；如果客户数据请求完成，关闭套接字，从集合中删除相应的描述符。

具体设计流程如下：

- (1) 首先，进行服务器初始化：
 - a) 创建套接字：使用 `socket` 函数创建服务器套接字。
 - b) 设置地址和端口：使用 `bind` 函数将套接字绑定到指定的 IP 地址和端口号。
 - c) 监听连接：使用 `listen` 函数使服务器套接字进入监听状态，可以接受客户端的连接请求。
- (2) 初始化 `fd_set` 和添加服务器套接字
 - a) 初始化 `fd_set`：使用 `FD_ZERO` 函数初始化文件描述符集合。
 - b) 添加服务器套接字：使用 `FD_SET` 函数将服务器套接字添加到集合中，表示需要监控该套接字的可读事件。
- (3) 使用循环，使得服务器持续处理客户端的连接请求和数据传输：
 - a) 首先使用 `select` 检测事件检测事件：`select` 函数阻塞等待，直到集合中某个文件描述符变为可读或超时。

下面进行参数说明：

第一个参数 `FD_SETSIZE` 是文件描述符的最大数量。第二个参数是可读事件的文件描述符集合。后两个参数是可写事件和异常事件的文件描述符集合，这里为 `NULL`。最后一个参数是超时时间，这里为 `NULL` 表示无限等待。

b) 然后处理事件

遍历所有文件描述符，检查哪些有事件发生。

(4) 接受新客户端连接

(5) 处理客户端数据

如果某个客户端套接字有数据可读，进行如下操作：

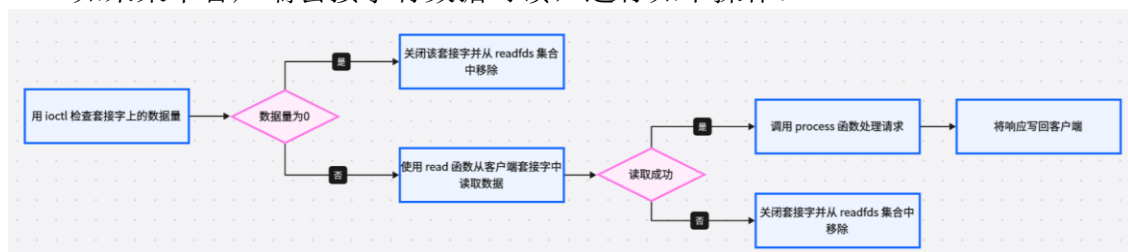


图 4 处理客户端数据流程图

- (6) 使用 `process` 函数，解析客户端请求并生成相应的响应。

四、协议实现

4.1 简单 echo web server 的实现

这里展示消息解析方法之 Lex 与 Yacc 的语法解析相关流程及原理图：

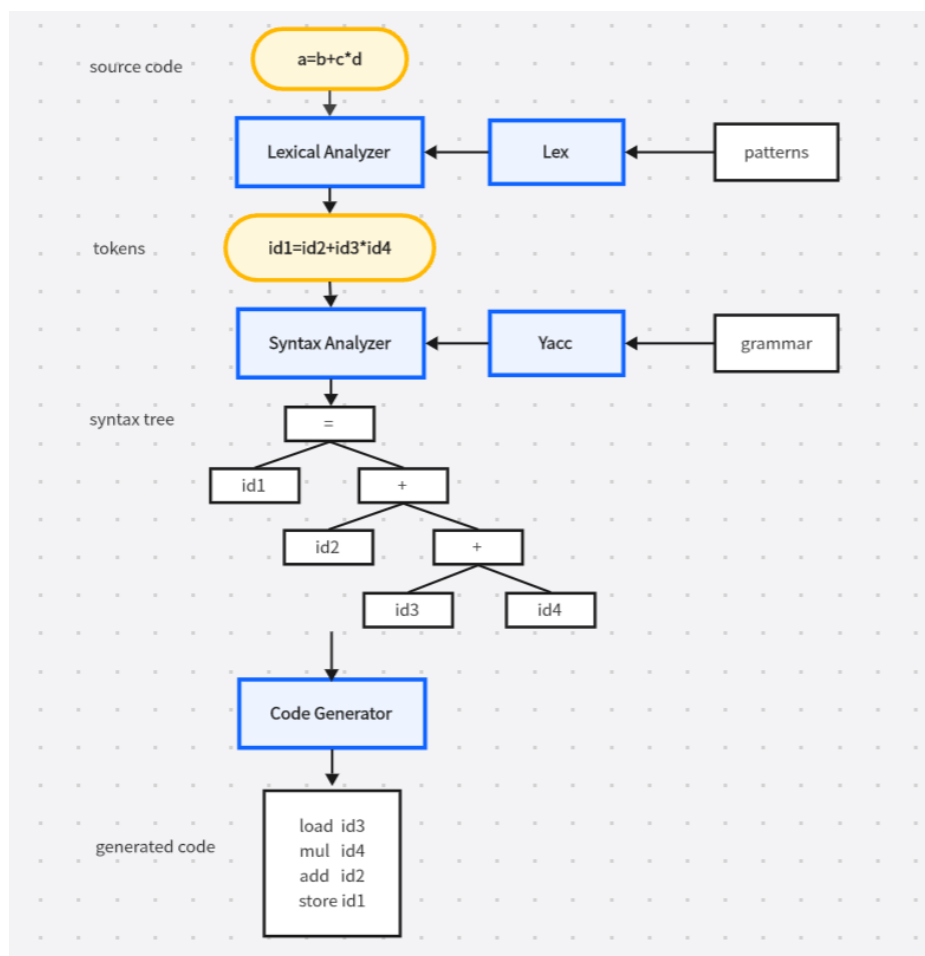


图5 Lex 与 Yacc 语法解析相关流程及原理图

消息解析的具体实现如下：

(1)实现多头请求：

通过阅读 `parse.y` 代码可以知道，在定义请求（request）时：规则中，每个请求只能与一个请求行和一个请求头部相匹配，这与 HTTP 报纸的格式有点不一致。在词法分析和分析信息时，yacc 和 lex 巧妙地运用递归，即递归定义变量 `request_header_all` 来匹配多个请求头部，也就是说 `request_header_all` 每次匹配时，都会匹配 `request_header` 或 `request_header` 和 `request_header_all`（通过这种方式实现了多头请求）。当然也可以通过修改 `parser.y` 文件中的规则，实现对多行请求的处理。具体为当匹配到 ‘token ows t_colon ows text ows t_crlf’ 的模式时，执行规则中代码，然后继续匹配下一个 ‘request_header’，可以用于处理多个连续的请求头的名称和值，将他们解析，注意对 `request_header` 的容量扩倍。

(2)扩大每个请求所能容纳的 header 数量：

通过阅读 `parse.c` 可以看出，每个为请求分配的请求头的数量为 1，考虑到多头请求的存在，注释掉下面的代码：

```
//request->headers = (Request_header *) malloc(sizeof(Request_header)*1);
```

通过在 `parser.y` 文件中 `request_header`:后面补充：

```
| request_header request_header{
    YPRINTF("request_Header pattern 2\n");
};
```

即可使 request_header 每次匹配时，都会匹配 request_header 或 request_header，实现了多头请求。

(3)彻底清除缓冲区域:

在测试过程中，我发现在运行 request_get 示例后，我可以得到正确的答案；然后运行 request_400 示例，仍然可以得到正确的答案；最后，在再次运行 request_get 示例后，我得到了“HTTP/1.1 400 Bad request\r\n\r\n”的结果。通过逐行打印，我发现 request 指针是 NULL。我发现在每次处理收到的信息后，当 request 和 buff 初始化时，buff 简单地对 buff 进行了 memset 处理和 request free 操作，这只是表面上的初始化，lex 和 yacc 在词法分析、消息解析中没有清空“看不见”的缓冲区和栈，通过进一步阅读源代码，我在 lex.yy.c 中找到了它 yylex_destroy(): 在词法分析和消息解析中，该函数可以清空看不见的缓冲区和栈。

(4)其他有关修改:

修改 echo_server.c 的输入参数个数为 4，包括一个测试文件路径。输入方式改为从 sample 文件中读取要发送的测试信息。

修改 echo_server.c，调用 parser.c 中的 char*process 函数对收到的信息解析，根据请求头和请求格式给出对应回应，然后通过 client_sock 进行回复。

这里，展示 Server 与 Client 设计时有关函数调用流程图:

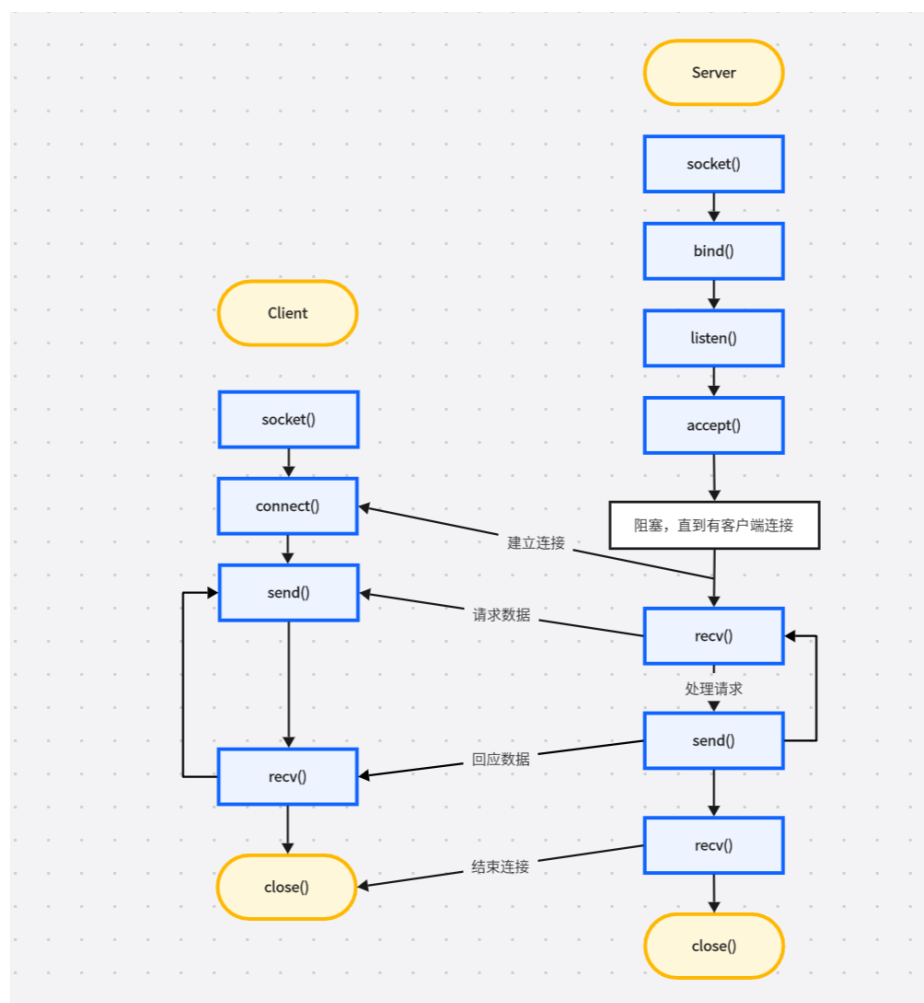


图 6 client 与 server 相关函数调用流程及原理

(5)关于 echo_server 接受消息并返回结果的实现:

在收到客户端 client 发送过来的消息之后, 首先将其解析到 Request 类型的指针中, 然后按照要求分成三种情况:

- 收到的请求方法为 GET、HEAD 和 POST (即 Request 中的 http->method 为该三种方法中的一个), 则直接返回收到的请求。
- 出现格式错误问题: 返回空指针, 清空缓冲区, 然后将 “HTTP/1.1 400 Bad request\r\n\r\n” 写入缓冲区, 最后将消息传回给 client。
- 收到非上述三种的其他请求方法: 仍先清空缓冲区, 再将 “HTTP/1.1 501 Not Implemented\r\n\r\n” 写入其中, 然后传回信息。

下面, 展示完成第一周后, 服务器端收到报文的反应的流程:

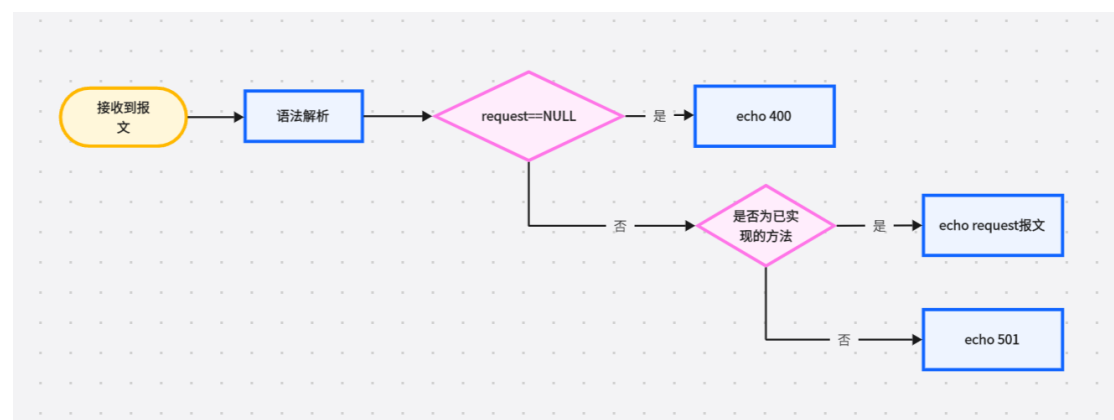


图 7 第一周实现后服务器端收到报文的反应

4.2 基本 HEAD、GET、POST 方法的实现

1. 获取 URL 的实现

获取 URL 的实现过程:

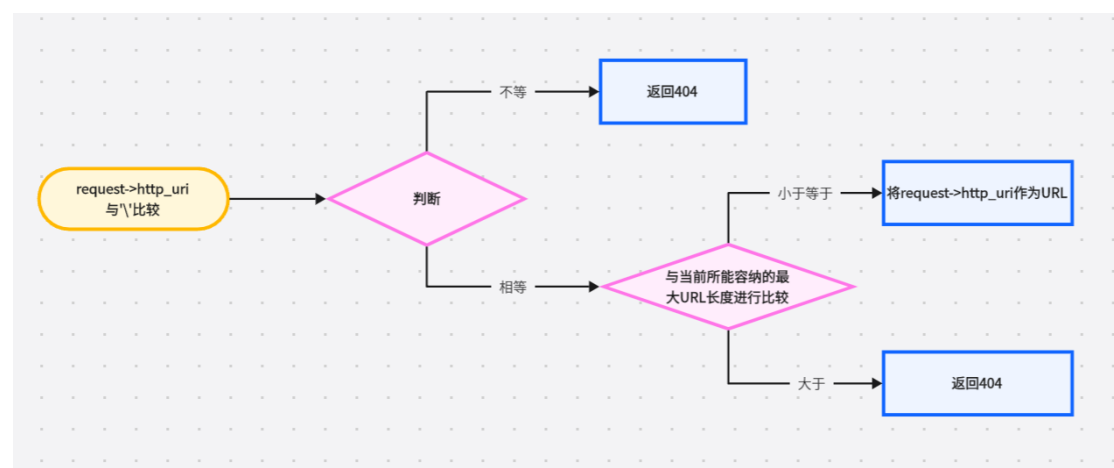


图 8 URL 获取的流程图

其中 URL 最大长度参数的设置是为了防止请求的 URL 过长导致缓冲区溢出, 以合理管理缓冲区, 避免差错。

2. 实现读写磁盘文件的异常处理:

首先, 使用 stat()函数来判断文件是否存在。如果返回值为-1, 则表示文件不

存在,错误代码为 404 的响应报告将直接返回。如果显示文件存在,则使用 `fopen()` 函数打开文件。如果打开文件失败,直接返回错误代码为 404 的响应消息。然后使用 `fread()` 函数阅读文件,并将 `response` 与读取文件中读取的内容连接起来,并存储在缓冲区中,最后将缓冲区的内容 `send` 返回。主要流程如下图所示:

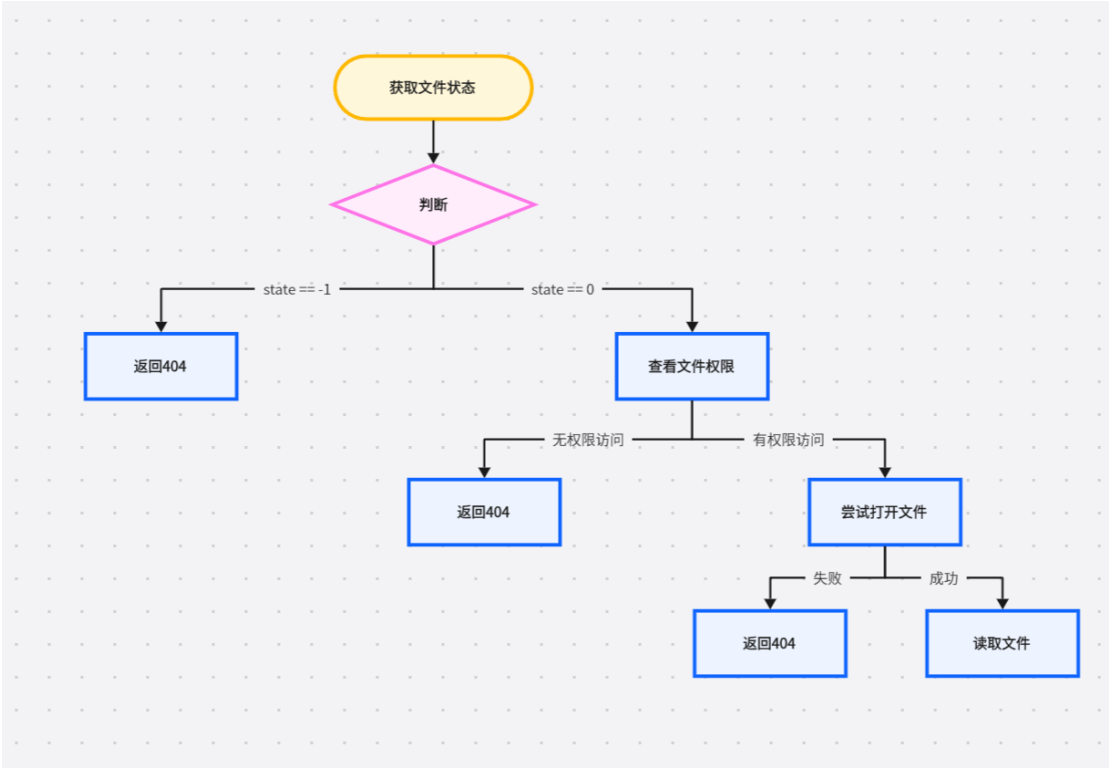


图 9 服务器对读写磁盘文件异常处理流程图

3. GET、HEAD 与 POST 方法与四种请求异常的实现:

首先进行消息解析。若客户端请求有误(即 `request` 为 `NULL`),则无法解析,返回 400 错误提示;否则继续判断版本号:若 `request->http_version` 不为"HTTP/1.1",则返回 505 格式响应;然后判断 `request->http_uri` 是否等于"/":若相等则返回 404 格式响应。接着,判断 `http_method` 是否为 GET:若为 GET,则读取 `html` 文件,并参照指导书结果示例把需要输出的内容以字符串形式按顺序存在缓冲区 `buff` 内;若请求方法为 POST,则直接返回缓冲区 `buff`;若请求方法为 HEAD,那么无需返回请求内容,只需要返回一些协议版本和时间等信息;最后,如果请求的方法不被服务器支持,则返回 501 错误格式。

4. 日志模块的实现

第二周以直接在终端输出日志记录的方式进行日志模块的实现。

关于日志模块的实现,我们主要说明复杂的时间信息输出的实现。`time` 函数返回从 1970-01-01 起累计至今的秒数,`localtime()`函数可以返回指向 `tm` 结构的指针,具有填充时间信息,存在于 `struct tm *info` 结构体中。`gmtime` 函数将日期和时间转换为格林威治(GMT)时间函数,将参数 `time` 所指的 `time_t` 结构中的信息转换为现实世界中使用的时间日期表示方法,然后将结果从结构 `tm` 返回。在 GET 和 HEAD 的返回格式中,首先,使用 `strftime()`函数将时间信息转换为相应的格式,如周、日、月、年、时、分、秒,以便添加到 `buff` 中。我们需要使用 `struct` 才能获得最后一次修改时间 `state` 结构中的 `st_mtime` 字段获得最后一次修改时

间，`localtime()`和 `strftime()`也用于格式转换。

实现 HEAD、GET、POST 持久连接的方法是不要关闭服务端和客户端的套接字，直接输出日志记录。下面展示 GET 时，相关日志的输出：

```
Parsed request: Method=GET, URI=/, Version=HTTP/1.1
server: HTTP/1.1 200 OK
Server: liso/1.1
Date: Thu, 30 May 2024 12:42:57 UTC
Content-Length: 802
Content-Type: text/html
Last-Modified: Wed, 28 Sep 2011 11:56:10 GMT
Connection: keep-alive
```

图 10 日志模块输出

5. 接收缓冲区的实现

如果在获取 URL 的过程中超过了 URL 设定的最大值，则直接返回 404 的响应信息，以合理管理缓冲区。

如果请求包的头部大于 8192 字节，则直接返回 400 响应信息。

当 GET 方法和 HEAD 方法获取 URL 时，每次都需要将相应的 URL 使用 `memset` 函数来进行初始化操作，清除上次调用此方法的 URL。

4.3 HTTP Pipelining 的实现

1. parse.c 文件中的新增函数 `Request** parse`

在本协议的 `parse.c` 文件中添加一个函数 `Request** parse(char *buffer, int size, int sockfd, int* request_num)`，用于解析 HTTP 请求。它的功能主要是将接收到的字符缓冲区域中的 HTTP 请求解析为一个或多个请求对象，并返回指向这些请求对象的指针数组。

函数的主要思路及执行流程如下：

(1) 首先创建一个 `Request` 结构体对象用于存储解析后的请求信息。分配存储子字符串 `substring` 和地址的数组，其中，`substring` 是一个存储接收到的 HTTP 请求字符串子串的数组。

(2) 接着开始进行解析，过程如下图：

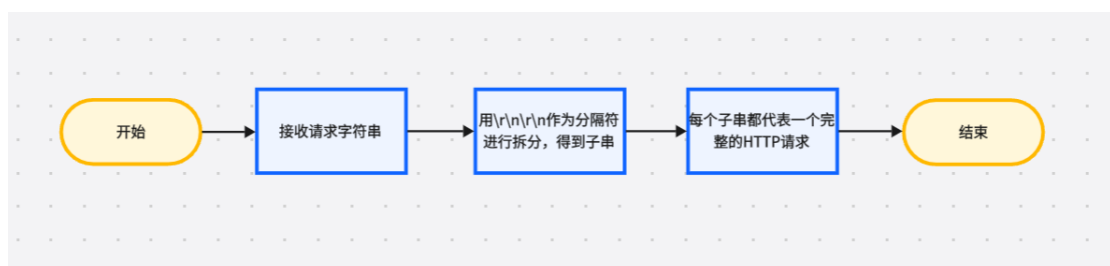


图 11 第三周 `parse` 解析过程

这样，`substring` 数组的每个元素都是一个字符串，并存储一个请求子串。这些子串是从原始请求字符串中提取的，每个子串包括请求行、请求头和请求体。这样，通过将请求字符串分成子串，可以独立分析每个子串，生成相应的请求对象。

(3) 遍历子串数组，以每个子串为输入，调用 `set_parsing_options` 函数设置解析选项，并调用 `yyvsparse` 函数进行解析。

(4) 接下来，执行流程图中的操作：

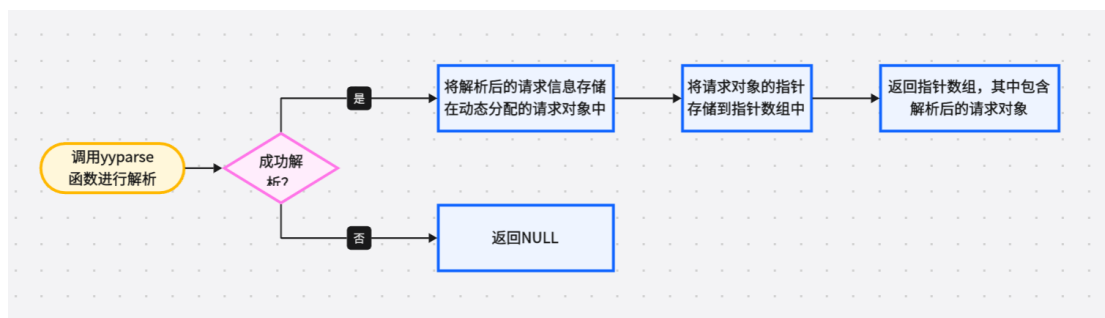


图 12 第三周解析后的流程

2. liso_server.c 文件中的调整

关于解析与处理请求，我们接着将目光转移到 `liso_server.c` 文件中。在 `liso_server.c` 文件中，我们应主要作如下修改，以实现 pipeline 处理：

(1) process 函数：

修改 `process` 函数，使其能够处理多个请求并生成多个响应，以保证该函数首先解析传入的 HTTP 请求字符串，并返回一个请求数组和请求数量。

每个请求处理完后，将其响应追加到 `buffer` 中，最终返回整个响应缓冲区。此外，`temp` 用于生成响应的日期头部字段。

其中，在请求处理过程中：

- for 循环遍历所有请求，并生成相应的 HTTP 响应。
- 对于每个请求，根据其方法 (GET, HEAD, POST) 生成相应的响应。
- 错误处理：如果请求解析失败，生成 400 Bad Request 响应；如果方法未实现，生成 501 Not Implemented 响应；如果 HTTP 版本不支持，生成 505 HTTP Version Not Supported 响应。

(2) main 函数：

在读取数据时，使用 `recv` 函数的返回值作为 `process` 函数的输入大小，以处理多个请求。

在发送响应后，清空缓冲区并释放动态分配的响应缓冲区。

这样修改后，服务器将支持 HTTP pipelining 并按 RFC2616 规范处理 HTTP 并发请求。如果某个请求是错误的，服务器将继续解析并处理后续请求。

此外，在这一周，还对之前代码进行了优化。在 `parse.c` 文件中将所有的内存分配集中在一起，并在使用后集中释放，合理管理指针及动态数组，避免内存泄漏。这样就优化了内存管理，确保在解析完成后释放不再需要的内存。

4.4 多个客户端的并发处理

实现多个客户端的并发处理主要依赖于 `select` 函数及 `fd_set` 结构，实现步骤如下图：

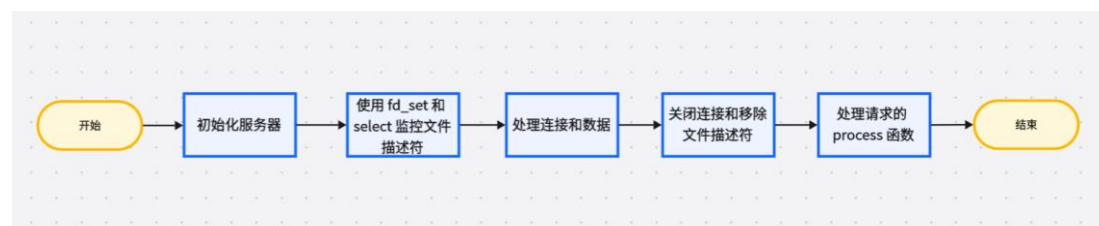


图 13 多个客户端的并发处理实现流程

以下是详细的实现步骤与解释：

1. 初始化服务器

(1) 创建服务器套接字，并将其绑定到指定的端口上。

(2) 调用 `listen` 函数使得服务器能够接受连接。

2. 使用 `fd_set` 和 `select` 监控文件描述符

(1) `FD_ZERO`：初始化文件描述符集合。

(2) `FD_SET`：将服务器套接字加入集合，表示需要监控该套接字的可读状态。

3. 主循环：处理连接和数据

(1) 使用 `select` 函数

`select`：等待文件描述符集合中某个文件描述符变为可读、可写或发生异常。

第一个参数是监控的文件描述符范围（系统默认最大值为 `FD_SETSIZE`）。

第二个参数是可读事件的文件描述符集合。

如果有文件描述符变为可读，`select` 返回大于 0 的值，表示有多少个文件描述符变为可读。

(2) 处理服务器套接字（接受新连接）

如果服务器套接字变为可读，表示有新的客户端连接请求。

调用 `accept` 接受新的客户端连接，将返回的客户端套接字加入 `readfds` 集合。

(3) 处理客户端套接字（读取数据）

对于每个客户端套接字，检查是否有数据可读。

使用 `ioctl` 检查数据量，如果为 0，表示客户端关闭连接。

使用 `read` 读取数据并调用 `process` 函数处理请求，处理完后将响应发送回客户端。

4. 关闭连接和移除文件描述符

关闭套接字并移除相应的文件描述符。

5. 处理请求的 `process` 函数

首先，解析请求并生成响应。

其次，根据请求类型（GET、HEAD、POST 等）构建相应的 HTTP 响应。

最后，返回构建的响应字符串。

总而言之，通过以上步骤，我们实现了一个可以处理多个并发客户端请求的服务器。关键在于使用 `select` 函数和 `fd_set` 结构来管理多个客户端连接，确保每个客户端的请求和响应互不干扰。具体流程如下：

(1) 服务器初始化并开始监听连接请求。

(2) 使用 `fd_set` 监控多个文件描述符。

(3) 在主循环中使用 `select` 检测哪些文件描述符有事件发生。

(4) 处理新客户端连接，将新的客户端套接字加入 `fd_set`。

(5) 处理已连接客户端的数据读取和响应生成。

(6) 当客户端关闭连接时，关闭相应的套接字并从 `fd_set` 中移除。

通过这种方式，即使某个客户端暂停或出错，服务器仍然能够继续为其他客户端提供服务，从而实现并发处理。

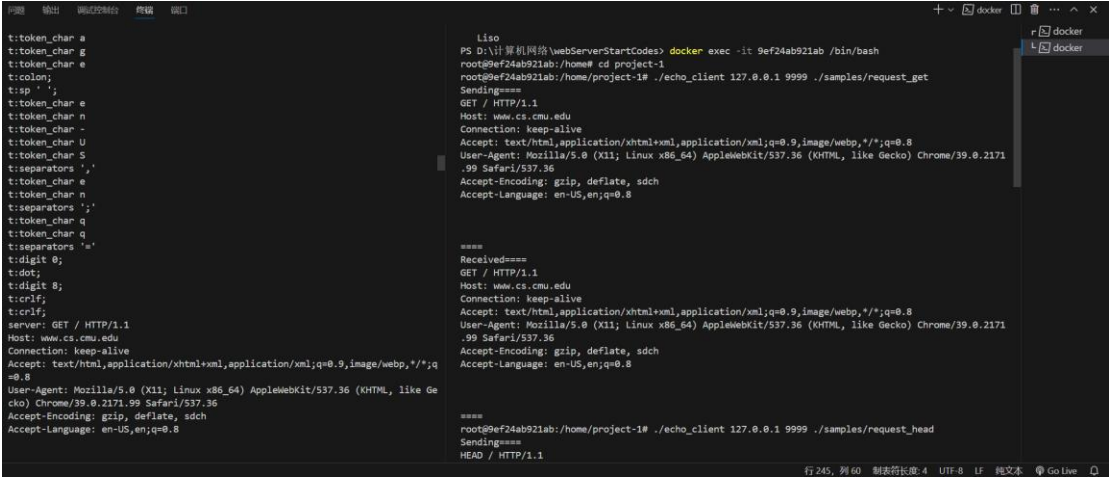
五、实验结果及分析

5.1 简单 echo web server 的实验结果与分析

1. 本地手动测试结果

(1) GET、HEAD、POST

GET



```
t:token_char a
t:token_char g
t:token_char e
t:colon;
t:sp ' ';
t:token_char e
t:token_char n
t:token_char -
t:token_char U
t:token_char S
t:separators ','
t:token_char e
t:token_char n
t:separators ','
t:token_char q
t:token_char q
t:separators '='
t:digit 0;
t:dot;
t:digit 8;
t:crif;
server: GET / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

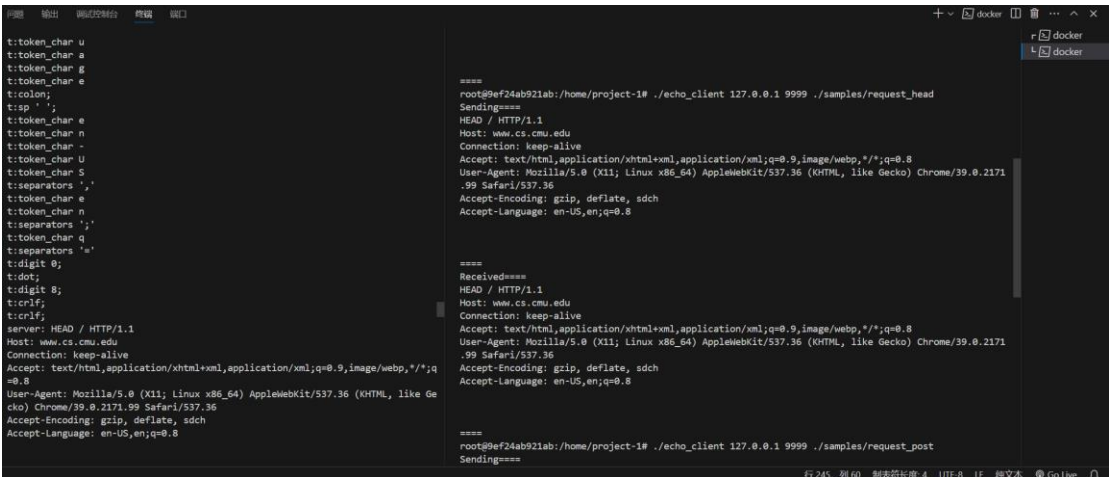
====
Received====
GET / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/request_get
Sending====
GET / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/request_head
Sending====
HEAD / HTTP/1.1
```

图 14-a 第一周 GET 测试截图

HEAD



```
t:token_char u
t:token_char e
t:token_char e
t:token_char e
t:colon;
t:sp ' ';
t:token_char e
t:token_char n
t:token_char -
t:token_char U
t:token_char S
t:separators ','
t:token_char e
t:token_char n
t:separators ','
t:token_char q
t:token_char q
t:separators '='
t:digit 0;
t:dot;
t:digit 8;
t:crif;
server: HEAD / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

====
Received====
HEAD / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/request_head
Sending====
HEAD / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/request_post
Sending====
```

图 14-b 第一周 HEAD 测试截图

POST

```
t:separators ' '
t:digit 0;
t:dot;
t:digit 8;
t:crif;
t:crif;
server: POST / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/request_post
Sending====
POST / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

====
Received====
POST / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1#
```

图 14-c 第一周 POST 测试截图

(2) 400 格式错误响应:
错误种类 1: 多了换行

```
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_400
Sending====
GET
/~prs/15-441-F15/ HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8
====
Received====
HTTP/1.1 400 Bad request

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1#
```

图 15-a 400 格式错误响应 1

错误种类 2: 开头了多空格

```
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_error1
Sending====
GET /~prs/15-441-F15/ HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8
====
Received====
HTTP/1.1 400 Bad request

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1#
```

图 15-b 400 格式错误响应 2

错误种类 3: 报文中间多了字符

```

root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_error2
Sending====
GET /~prs/15-441-F15/ HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171
.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

====
Received====
HTTP/1.1 400 Bad request

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1#

```

图 15-c 400 格式错误响应 3

错误种类 4：中间缺字符

```

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_error3
Sending====
GET /~prs/15-441-F15/ HTTP/1.1
: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171
.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8
====
Received====
HTTP/1.1 400 Bad request

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1#

```

图 15-d 400 格式错误响应 4

错误种类 5：无 HTTP/1.1 协议名称

```

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_error4
Sending====
GET /~prs/15-441-F15/
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171
.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8
====
Received====
HTTP/1.1 400 Bad request

====

```

图 15-e 400 格式错误响应 5

(3) 501 响应

```
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_501
Sending====
GE /~prs/15-441-F15/ HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu

====
Received====
HTTP/1.1 501 Not Implemented

====
root@9ef24ab921ab:/home/project-1#
```

图 15-f 501 响应

2. 平台自动测试结果

AUTOLAB

GradebookJobs

SocketProgramming-2024 (2024spring) » week1-echo server » Handin History

Ver	File	Submission Date	lab1 (100.0)	Late Days Used	Total Score
6	3133242711@qq.com_6_Liso.tar	2024-05-18 23:24:28 +0800	100.0	Submitted 0 days late	100.0
5	3133242711@qq.com_5_Liso.tar	2024-05-18 18:59:10 +0800	100.0	Submitted 0 days late	100.0

图 16 第一周平台测试 100 分结果

3. 实验结果的分析：

通过本地测试可知：能够对 GET、HEAD、POST 方法相应；能够对没有实现的方法进行对应的处理；能够识别五种格式错误并返回相应的信息。成功实现了简单的 echo web server。

5.2 HEAD、GET、POST 方法的实验结果与分析

1. 本地手动测试结果

(1) GET、HEAD、POST
GET

```
t:token_char e
t:token_char n
t:separators ';'
t:token_char q
t:separators '='
t:digit 0;
t:dot;
t:digit 8;
t:crLf;
t:crLf;
server: HTTP/1.1 200 OK
Server: liso/1.1
Date: Mon, 27 May 2024 11:40:45 UTC
Content-Length: 802
Content-Type: text/html
Last-Modified: Wed, 28 Sep 2011 11:56:10 GMT
Connection: keep-alive

<!DOCTYPE html>
<html xml:lang="en" lang="en" xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
  <head>
    <meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=utf-8" />
    <title>Liso the Friendly Web Server</title>
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css" />
  </head>
  <body>
    <div id="page">
      </img>
      <p>Welcome to the liso 1.0 web server. If you see this page then
        congratulations! Your liso web server is up and running now!</p>
      <p>This liso web server was implemented by: xxxxxxx
        &#60;a href="mailto:xxxxx@andrew.cmu.edu">xxxxx@andrew.cmu.edu
        </a>&#62;</p>
    </div>
  </body>
</html>

t:token_char P
```

```
root@8745c97280ef:/home/project-1# ./liso_client 127.0.0.1 9999 ./samples/request_get
Sending====
GET / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/59.0.3171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

====
Received====
HTTP/1.1 200 OK
Server: liso/1.1
Date: Mon, 27 May 2024 11:40:45 UTC
Content-Length: 802
Content-Type: text/html
Last-Modified: Wed, 28 Sep 2011 11:56:10 GMT
Connection: keep-alive

<!DOCTYPE html>
<html xml:lang="en" lang="en" xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
  <head>
    <meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=utf-8" />
    <title>Liso the Friendly Web Server</title>
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css" />
  </head>
  <body>
    <div id="page">
      </img>
      <p>Welcome to the liso 1.0 web server. If you see this page then
        congratulations! Your liso web server is up and running now!</p>
      <p>This liso web server was implemented by: xxxxxxx
        &#60;a href="mailto:xxxxx@andrew.cmu.edu">xxxxx@andrew.cmu.edu
        </a>&#62;</p>
    </div>
  </body>
</html>
```

图 17-a 第二周 GET 测试截图

HEAD

```
t:token_char g
t:token_char u
t:token_char a
t:token_char g
t:token_char e
t:colon;
t:sp ' ';
t:token_char e
t:token_char -
t:token_char U
t:token_char S
t:separators ','
t:token_char e
t:token_char n
t:separators ';'
t:token_char q
t:separators '='
t:digit 0;
t:dot;
t:digit 8;
t:crLf;
t:crLf;
server: HTTP/1.1 200 OK
Server: Apache-Coyote/1.1
Content-Type: text/html;charset=UTF-8
Date: Mon, 27 May 2024 11:44:10 UTC

=====
root@8745c9728bef:/home/project-1# ./liso_client 127.0.0.1 9999 ./samples/request_head
Sending=====
HEAD / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

=====
Received=====
HTTP/1.1 200 OK
Server: Apache-Coyote/1.1
Content-Type: text/html;charset=UTF-8
Date: Mon, 27 May 2024 11:44:10 UTC

=====
root@8745c9728bef:/home/project-1#
```

图 17-b 第二周 HEAD 测试截图

```
POST
t:token_char e
t:token_char p
t:token_char t
t:token_char -
t:token_char L
t:token_char a
t:token_char g
t:token_char e
t:colon;
t:sp ' ';
t:token_char e
t:token_char n
t:token_char U
t:token_char S
t:separators ','
t:token_char e
t:token_char n
t:separators ';'
t:token_char q
t:separators '='
t:digit 0;
t:dot;
t:digit 8;
t:crLf;
t:crLf;
server: POST / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

</body>
</html>

=====
root@8745c9728bef:/home/project-1# ./liso_client 127.0.0.1 9999 ./samples/request_post
Sending=====
POST / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

=====
Received=====
POST / HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

=====
root@8745c9728bef:/home/project-1# ./liso_client
```

图 17-c 第二周 POST 测试截图

(2) 其他错误反馈

400

```
t:token_char t
t:colon;
t:sp ' ';
t:token_char w
t:token_char w
t:token_char w
t:dot;
t:token_char s
t:token_char s
t:dot;
t:token_char c
t:token_char m
t:token_char u
t:dot;
t:token_char e
t:token_char d

root@8745c9728bef:/home/project-1# ./liso_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_400
Sending=====
GET /-prs/15-441-F15/ HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

=====
Received=====
HTTP/1.1 400 Bad Request
```

图 18-a 第二周 400 截图

404

```
t:token_char N
t:separators ','
t:token_char z
t:token_char h
t:separators ';'
t:token_char q
t:separators '='
t:digit 0;
t:dot;
t:digit 9;
t:crLf;
t:crLf;
Parsed request: Method=GET, URI=/style.css, Version=HTTP/1.1
server: HTTP/1.1 404 Not Found

=====
root@8745c9728bef:/home/project-1# ./liso_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_404
Sending=====
GET /-prs/15-441-F15/ HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/39.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

=====
Received=====
```


图 18-b 第二周 404 截图

501

```
t:dot;
t:token_char c
t:token_char s
t:dot;
t:token_char c
t:token_char m
t:token_char u
t:dot;
t:token_char e
t:token_char d
t:token_char u
t:crLf;
t:crLf;
server: HTTP/1.1 501 Not Implemented

=====
root@8745c97288ef:/home/project-1# ./liso_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_501
Sending====
GE /~prs/15-441-F15/ HTTP/1.1
Host: www.cs.cmu.edu

=====
Received====
HTTP/1.1 501 Not Implemented

=====
root@8745c97288ef:/home/project-1#
```

图 18-c 第二周 501 截图

505

```
t:crLf;
t:token_char H
t:token_char o
t:token_char s
t:token_char t
t:colon;
t:sp ' ';
t:token_char w
t:token_char w
t:token_char w
t:dot;
t:token_char c
t:token_char s
t:dot;
t:token_char c
t:token_char m

root@8745c97288ef:/home/project-1# ./liso_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_505
Sending====
GET / HTTP/0.0
Host: www.cs.cmu.edu
Connection: keep-alive
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,*/*;q=0.8
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/99.0.2171.99 Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8

=====
Received====
HTTP/1.1 505 HTTP Version Not Supported
```

图 18-d 第二周 505 截图

2. 浏览器测试

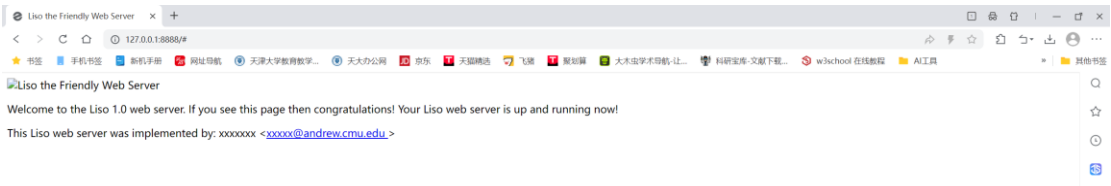


图 19 第二周浏览器测试截图

3. 自动测试平台

AUTOLAB					
Gradebook Jobs 3022244290 陈秋澄					
SocketProgramming-2024 (2024spring) week2-get head post Handin History					
Ver	File	Submission Date	lab2 (100.0)	Late Days Used	Total Score
2	3133242711@qq.com_2_Liso.tar	2024-05-30 16:29:08 +0800	100.0	Submitted 0 days late	100.0
1	3133242711@qq.com_1_Liso.tar	2024-05-28 21:00:22 +0800	100.0	Submitted 0 days late	100.0

图 20 第二周自动测试平台 100 分截图

4. 实验结果分析

分析手动测试和平台测试结果可知，server 能够按照要求对 GET、HEAD、POST 方法的请求做出正确的响应，并支持 4 种请求异常的出错代码并返回相关信息，平台测试成绩为 100 分。

日志模块也能成功打印。

综上，正确实现了 GET、HEAD 与 POST 方法，完成了实验指导书中的相关要求并通过了功能测试。

5.3 HTTP 的并发请求的实验结果与分析

1. 本地手动测试结果

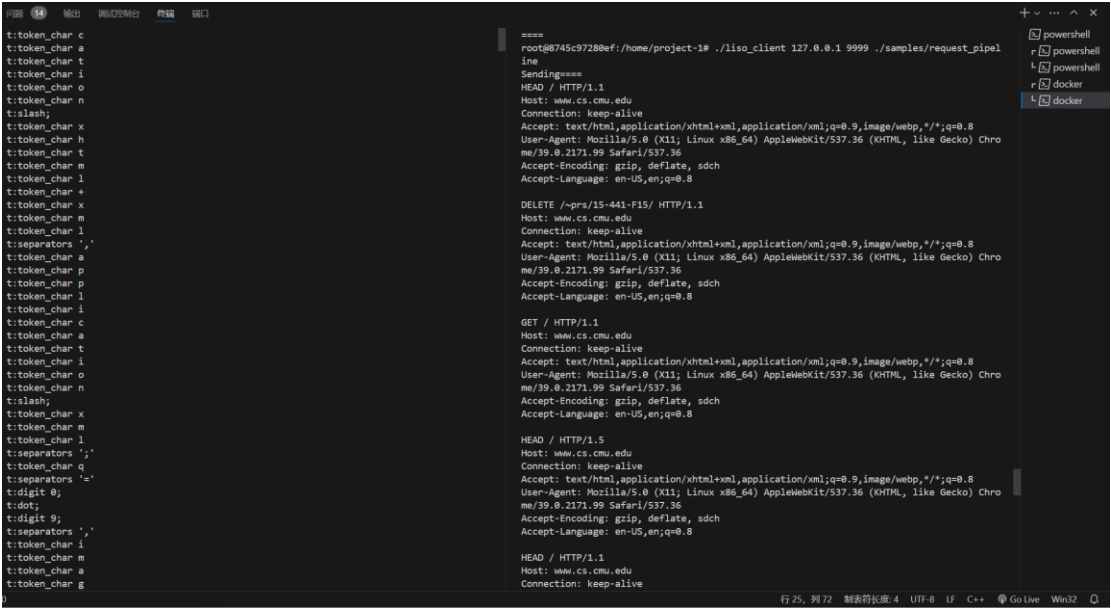


图 21-a 第三周本地测试截图

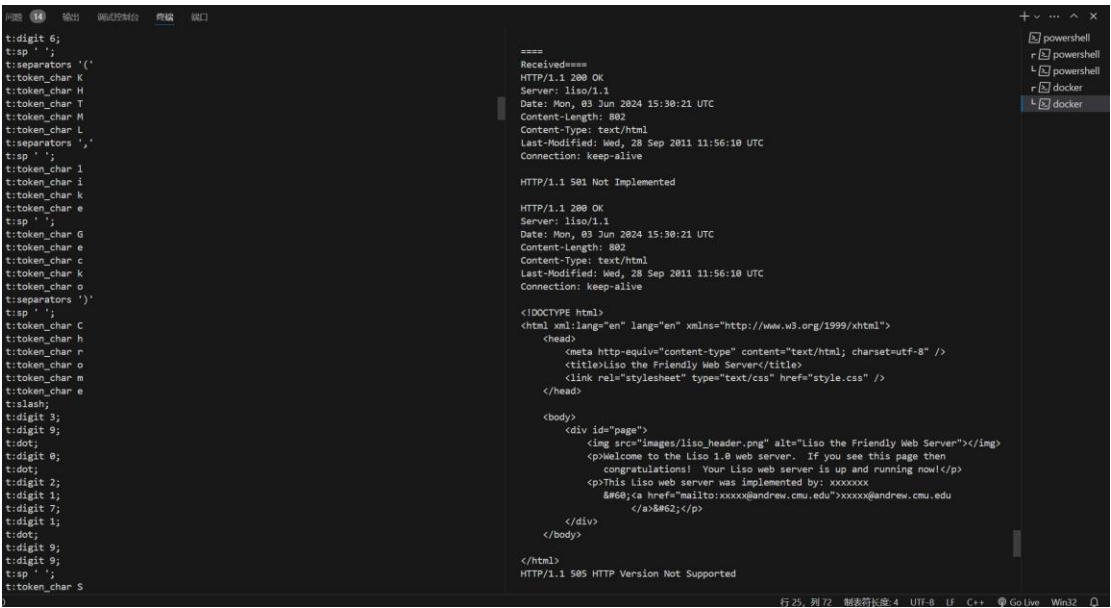


图 21-b 第三周本地测试截图

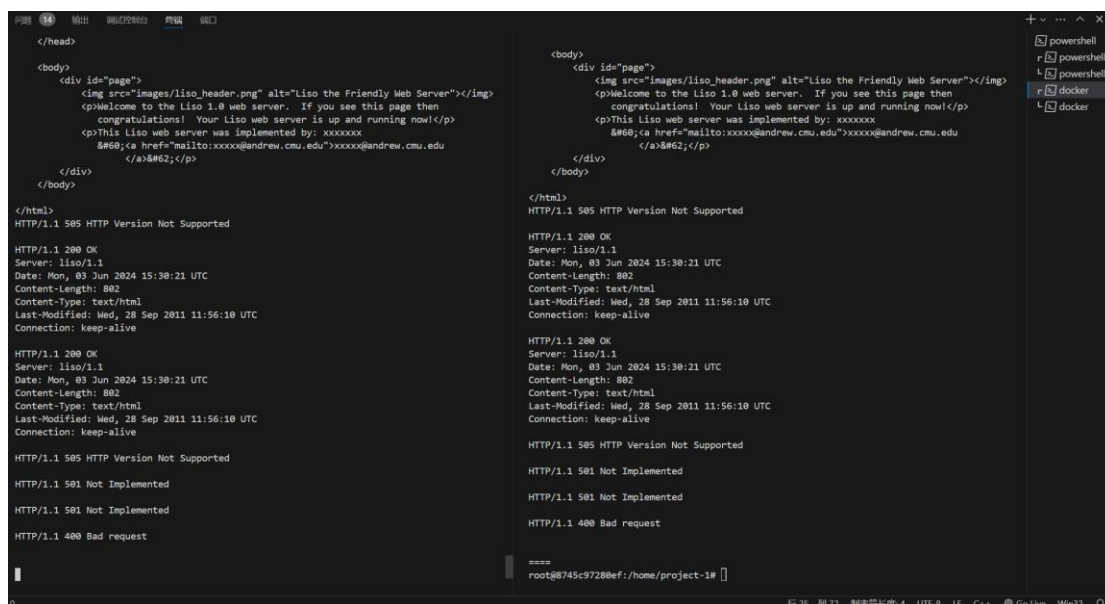


图 21-c 第三周本地测试截图

2. 自动测试平台



图 22 第三周自动测试平台 100 分截图

3. 实验结果分析

通过手动测试结果可以看出，`request_pipeline` 文件中的 10 个例子都正确测试；提交到自动评测平台后，20 个及以上的请求得到正确处理，最终以 100 分通过了平台测试。

综上所述，HTTP 并发请求得到了正确的实现，成功支持 HTTP pipelining，HTTP 并发请求可以按照 RFC2616 规定的顺序处理。此外，当请求错误时，可以拒绝并正确解析下一个请求，成功完成实验指导书中的相关要求并通过测试。

5.4 多个客户端的并发处理的实验结果与分析

1. 本地手动测试结果

(1) 100 个请求，10 个 1 并发
第三周：

```
Benchmarking www.baidu.com (be patient).....done

Server Software:      BW5/1.1
Server Hostname:      www.baidu.com
Server Port:          443
SSL/TLS Protocol:     TLSv1.2,ECDEH-RSA-AES128-GCM-SHA256,2048,128
TLS Server Name:      www.baidu.com

Document Path:        /
Document Length:      227 bytes

Concurrency Level:    10
Time taken for tests:  0.168 seconds
Complete requests:    100
Failed requests:      0
Keep-Alive requests:  100
Total transferred:    141690 bytes
HTML transferred:     22700 bytes
Requests per second:  595.15 [#/sec] (mean)
Time per request:     16.803 [ms] (mean)
Time per request:     1.680 [ms] (mean, across all concurrent requests)
Transfer rate:        823.50 [Kbytes/sec] received

Connection Times (ms)
  min mean[+/-sd] median max
Connect:    0   4 11.3      0   41
Processing: 10 12  3.0     11   27
Waiting:    10 12  3.0     11   27
Total:      10 16 11.3     11   53

Percentage of the requests served within a certain time (ms)
 50%    11
 66%    13
 75%    15
 80%    16
 90%    42
 95%    51
 98%    52
 99%    53
100%    53 (longest request)
root@8745c97280ef:/home/project-1#
```

图 23-a 100 个请求 10 个 1 并发(基于第三周)

第四周:

```
Document Path:        /
Document Length:      227 bytes

Concurrency Level:    10
Time taken for tests:  0.159 seconds
Complete requests:    100
Failed requests:      0
Keep-Alive requests:  100
Total transferred:    141689 bytes
HTML transferred:     22700 bytes
Requests per second:  627.73 [#/sec] (mean)
Time per request:     15.930 [ms] (mean)
Time per request:     1.593 [ms] (mean, across all concurrent requests)
Transfer rate:        868.58 [Kbytes/sec] received

Connection Times (ms)
  min mean[+/-sd] median max
Connect:    0   4 12.9      0   44
Processing:  8 11  3.8     10   23
Waiting:    8 11  3.8     10   23
Total:      8 15 13.2     10   56

Percentage of the requests served within a certain time (ms)
 50%    10
 66%    11
 75%    12
 80%    20
 90%    46
 95%    53
 98%    56
 99%    56
100%    56 (longest request)
root@8745c97280ef:/home/project-1#
```

图 23-b 100 个请求 10 个 1 并发(基于第四周)

(2) 100 个请求, 20 个 1 并发

第三周:

```

Benchmarking www.baidu.com (be patient).....done

Server Software:      BWS/1.1
Server Hostname:      www.baidu.com
Server Port:          443
SSL/TLS Protocol:     TLSv1.2,ECDHE-RSA-AES128-GCM-SHA256,2048,128
TLS Server Name:      www.baidu.com

Document Path:        /
Document Length:      227 bytes

Concurrency Level:    20
Time taken for tests:  0.132 seconds
Complete requests:    100
Failed requests:      0
Keep-Alive requests:  100
Total transferred:    141691 bytes
HTML transferred:     22700 bytes
Requests per second:  755.00 [#/sec] (mean)
Time per request:     26.498 [ms] (mean)
Time per request:     1.325 [ms] (mean, across all concurrent requests)
Transfer rate:        1044.69 [Kbytes/sec] received

Connection Times (ms)
  min  mean[+/-sd] median  max
Connect:  0  10 20.0   0    57
Processing: 11  15  3.3  14    25
Waiting:  11  15  3.3  14    25
Total:    11  25 19.9  15    72

Percentage of the requests served within a certain time (ms)
 50%  15
 66%  19
 75%  23
 80%  28
 90%  33
 95%  37
 98%  42
 99%  42
100%  72 (longest request)
root@8745c97280ef:/home/project-1#
```

图 24-a 100 个请求 20 个 1 并发(基于第三周)

第四周:

```

Concurrency Level:    20
Time taken for tests:  0.099 seconds
Complete requests:    100
Failed requests:      0
Keep-Alive requests:  100
Total transferred:    141694 bytes
HTML transferred:     22700 bytes
Requests per second:  1007.48 [#/sec] (mean)
Time per request:     19.852 [ms] (mean)
Time per request:     0.993 [ms] (mean, across all concurrent requests)
Transfer rate:        1394.07 [Kbytes/sec] received

Connection Times (ms)
  min  mean[+/-sd] median  max
Connect:  0   8 15.3   0    40
Processing: 8  11  1.5  11    21
Waiting:   8  11  1.6  11    21
Total:    9  18 15.3  11    52

Percentage of the requests served within a certain time (ms)
 50%  11
 66%  12
 75%  12
 80%  45
 90%  48
 95%  52
 98%  52
 99%  52
100%  52 (longest request)
root@8745c97280ef:/home/project-1#
```

图 24-b 100 个请求 20 个 1 并发(基于第四周)

(3) 100 个请求, 50 个 1 并发

第三周:

```

Benchmarking www.baidu.com (be patient)....done

Server Software:      BWS/1.1
Server Hostname:      www.baidu.com
Server Port:          443
SSL/TLS Protocol:     TLSv1.2, ECDHE-RSA-AES128-GCM-SHA256, 2048, 128
TLS Server Name:      www.baidu.com

Document Path:        /
Document Length:      227 bytes

Concurrency Level:    50
Time taken for tests:  0.166 seconds
Complete requests:     100
Failed requests:       0
Keep-Alive requests:   100
Total transferred:     141684 bytes
HTML transferred:      22700 bytes
Requests per second:   601.60 [#/sec] (mean)
Time per request:      83.112 [ms] (mean)
Time per request:      1.662 [ms] (mean, across all concurrent requests)
Transfer rate:         832.40 [kbytes/sec] received

Connection Times (ms)
  min  mean[+/-sd] median  max
Connect:    0  40  40.9   66   92
Processing: 17  29   5.4   26   46
Waiting:    17  28   5.4   26   46
Total:      17  69  43.6   92  123

Percentage of the requests served within a certain time (ms)
 50%    92
 66%   101
 75%   120
 80%   121
 90%   122
 95%   123
 98%   123
 99%   123
100%   123 (longest request)
root@8745c97280ef:/home/project-1#
```

图 25-a 100 个请求 50 个 1 并发(基于第三周)

第四周:

```

Document Path:        /
Document Length:      227 bytes

Concurrency Level:    50
Time taken for tests:  0.113 seconds
Complete requests:     100
Failed requests:       0
Keep-Alive requests:   100
Total transferred:     141690 bytes
HTML transferred:      22700 bytes
Requests per second:   886.63 [#/sec] (mean)
Time per request:      56.393 [ms] (mean)
Time per request:      1.128 [ms] (mean, across all concurrent requests)
Transfer rate:         1226.83 [kbytes/sec] received

Connection Times (ms)
  min  mean[+/-sd] median  max
Connect:    0  36  36.6   39   77
Processing: 11  16   2.7   16   31
Waiting:    11  16   2.6   16   31
Total:      11  52  37.0   68   93

Percentage of the requests served within a certain time (ms)
 50%    68
 66%    90
 75%    91
 80%    91
 90%    91
 95%    92
 98%    93
 99%    93
100%    93 (longest request)
root@8745c97280ef:/home/project-1#
```

图 25-b 100 个请求 50 个 1 并发(基于第四周)

(4) 500 个请求, 50 个 1 并发

第三周:

```
Benchmarking www.baidu.com (be patient)
Completed 100 requests
Completed 200 requests
Completed 300 requests
Completed 400 requests
Completed 500 requests
Finished 500 requests

Server Software:      BKS/1.1
Server Hostname:      www.baidu.com
Server Port:          443
SSL/TLS Protocol:     TLSv1.2/ECDHE-RSA-AES128-GCM-SHA256,2048,128
TLS Server Name:      www.baidu.com

Document Path:        /
Document Length:      227 bytes

Concurrency Level:    50
Time taken for tests:  0.381 seconds
Complete requests:     500
Failed requests:       0
Keep-Alive requests:   500
Total transferred:     708846 bytes
HTML transferred:      113500 bytes
Requests per second:   1312.72 [#/sec] (mean)
Time per request:      38.089 [ms] (mean)
Time per request:      0.762 [ms] (mean, across all concurrent requests)
Transfer rate:         1816.39 [Kbytes/sec] received

Connection Times (ms)
      min  mean[+/-sd] median  max
Connect:    0   10  30.9      0   121
Processing: 15   26   5.4      26   62
Waiting:    15   26   5.4      26   62
Total:      15   36  31.0     27  148

Percentage of the requests served within a certain time (ms)
 50%    27
 66%    29
 75%    31
 80%    31
 90%   117
 95%   124
 98%   131
 99%   147
100%   148 (longest request)
```

图 26-a 500 个请求 50 个 1 并发(基于第三周)

第四周:

```
Concurrency Level:    50
Time taken for tests:  0.297 seconds
Complete requests:     500
Failed requests:       0
Keep-Alive requests:   500
Total transferred:     708472 bytes
HTML transferred:      113500 bytes
Requests per second:   1682.27 [#/sec] (mean)
Time per request:      29.722 [ms] (mean)
Time per request:      0.594 [ms] (mean, across all concurrent requests)
Transfer rate:         2327.82 [Kbytes/sec] received

Connection Times (ms)
      min  mean[+/-sd] median  max
Connect:    0    7  20.2      0   87
Processing: 10   21   7.8     19   42
Waiting:    10   21   7.8     19   42
Total:      11   28  19.4     21  103

Percentage of the requests served within a certain time (ms)
 50%    21
 66%    26
 75%    26
 80%    39
 90%    67
 95%    81
 98%    93
 99%    94
100%   103 (longest request)
root@8745c97280ef:/home/project-1#
```

图 26-b 500 个请求 50 个 1 并发(基于第四周)

2. 自动测试平台

AUTOLAB						Gradebook	Jobs	3022244290 陈秋澄
SocketProgramming-2024 (2024spring) » week4-concurrent » Handin History								
Ver	File	Submission Date	lab4 (100.0)	Late Days Used	Total Score			
3	3133242711@qq.com_3_Liso.tar	2024-06-09 23:47:16 +0800	100.0	Submitted 0 days late	100.0			

图 27 第四周自动测试平台 100 分截图

3. 实验结果分析

通过手动测试结果可以看出，相关请求得到正确测试；提交到自动评测平台后，多个客户端的并发处理的得以成功实现，最终以 100 分通过了平台测试。

4. 性能分析

当使用 `select()`方法实现多个客户端的并发执行时，响应时间远低于第三周

的响应时间(即不使用 `select()` 方法实现多个客户端的并发执行)。经过本周的改进, 每秒响应的请求数量增加, 转移率增加, 100%的响应时间减少。server 的性能显著提高。

当连接总数相同时, 并发数越多, 响应时间越长。

当并发数相同时, 连接总数越多, 响应时间越长。

六、总结

6.1 问题与解决

6.1.1 第一周

1. 出现报错: `error during connect: this error may indicate that the docker daemon is not running`

解决: 重启 docker 程序, 先在 docker 程序中进行登录, 再在终端中进行容器开启连接等操作。

2. 出现报错: `failed to solve: process "/bin/sh -c apt-get update && apt-get -y install gcc...did not complete successfully: exit code: 100`

解决: 在镜像下载时, 起初我没有开启梯子, 下载进度条不移动, 几乎处于停滞状态, 于是我开启梯子, 下载可以正常进行; 一段时间后, 我在下载第二部分相关内容时关掉梯子, 全部镜像文件得以成功下载完成。

3. 在运行原始代码时, 我输入:

`./echo_client 127.0.0.1 9999 ./samples/sample_request_example` 时出现下图所示的提示:

```
usage: ./echo_client <server-ip> <port>root@9ef24ab921ab:/home/project-1#
```

解决: 阅读原始代码后, 我发现正确的输入应为 3 项, 应该先输入 `./echo_client 127.0.0.1 9999` 后, 再进行相关输入测试。

4. 一段时间未使用后, 退出容器后重新尝试绑定但出现报错:

```
root@9ef24ab921ab:/home/project-1# ./echo_server
----- Echo Server -----
Failed binding socket.
root@9ef24ab921ab:/home/project-1#
```

图 28 第一周报错截图

解决: 重启电脑, server 成功绑定 socket。

5. 起初, 无论我如何调整 Makefile 文件, 压缩后提交至评测平台始终报错如下, 得分为 0, 但我在本地手动输入测试数据, 结果均显示正确。

平台显示结果如下:

```

Compiling
make[1]: Entering directory '/home/autograde/autolab/Liso-handout'
rm -f example echo_server echo_client src/lex.yy.c src/y.tab.*
rm -f -r obj
make[1]: Leaving directory '/home/autograde/autolab/Liso-handout'
make[1]: Entering directory '/home/autograde/autolab/Liso-handout'
gcc -o example
gcc: fatal error: no input files
compilation terminated.
Makefile:22: recipe for target 'example' failed
make[1]: *** [example] Error 1
make[1]: Leaving directory '/home/autograde/autolab/Liso-handout'
Failure: Unable to compile (return status = 2)
{"scores": {"lab1": 0}}

Score for this problem: 0.0

```

图 29 第一周初始平台评测报错截图

仔细检查 Makefile 文件后发现未修改第 6 行代码。我将原始代码

```
OBJ_EXAMPLE := $(OBJ_DIR)/y.tab.o $(OBJ_DIR)/lex.yy.o $(OBJ_DIR)/parse.o $(OBJ_DIR)/example.o
```

的“_EXAMPLE”删除后，重新编译、压缩，提交到平台评测，得分终于变成 100 分。

6.1.2 第二周

1. 因为起初未设置端口映射，导致无法进行浏览器测试，即始终无法访问有关网址。询问助教老师后，得知须设置端口映射。但了解到 `docker run` 即默认自动新建一个容器，担心之前的环境配置工作及第一周的代码编写前功尽弃，很是纠结。我还了解到设置端口映射还可以调整相关配置文件，但也需进行重启容器等一系列较为复杂的操作。结合自己的情况和助教老师的解决方法，发现我们是在项目文件夹中创建的镜像，在镜像中创建的容器，因此无需担心这些问题。于是新创建了一个容器，执行指令：`docker run --privileged -it -p 8888:9999 -v D:/计算机网络/webServerStartCodes/:/home/project-1 --name liso 15-441/641-project-1 /bin/bash`，成功解决问题。当然，在尝试过程中，还遇到了包括指令格式有误、容器命名重复等一系列问题。值得高兴的是，经过分析报错原因以及大胆尝试，最后问题均得到解决。

6.1.3 第三周

1. 起初，我只修改了 `parse.c` 文件以完善其解析过程及函数，尝试编译代码报错如下：

```

src/parse.c:6:11: error: conflicting types for 'parse'
Request** parse(char *buffer, int size, int socketFd,int* request_num) {
          ^~~~~
In file included from src/parse.c:1:0:
include/parse.h:24:10: note: previous declaration of 'parse' was here
Request* parse(char *buffer, int size,int socketFd);
          ^~~~~

```

图 30-1 第三周报错截图 1

阅读报错信息，我在 `parse.h` 文件中添加了新的 `parse` 函数声明，并删除旧信息。再次运行，仍报错：


```

src/example.c: In function 'main':
src/example.c:22:22: error: too few arguments to function 'parse'
    Request *request = parse(buf,readRet,fd_in);
                        ^~~~~~
In file included from src/example.c:8:0:
include/parse.h:25:11: note: declared here
    Request** parse(char *buffer, int size,int sockfd, int* request_num);
                ^~~~~~
Makefile:33: recipe for target 'obj/example.o' failed
make: *** [obj/example.o] Error 1
root@8745c97280ef:/home/project-1#

```

图 30-2 第三周报错截图 2

阅读 Makefile 文件，发现 example.c 文件也被编译，还需修改 example 中代码，以实现流水线请求的顺利执行。

2. 在这一周，我也发现了针对之前遇到的一些问题的更优的解决方法，比如第一周遇到的 server 端“Failed binding socket”问题。我发现这可能与缓冲区已满有关，于是我尝试执行 make clean 指令后，重新尝试开启 server 端，成功了！于是我还对代码进行了调整，实现内存管理优化：在 parse.c 文件中将所有的内存分配集中在一起，并在使用后集中释放，避免内存泄漏。这样就优化了内存管理，确保在解析完成后释放不再需要的内存。

6.2 收获、体会及建议

1. 明晰了 URL 与 URI 的区别：

URL 是统一资源定位符。URI 是统一资源标识符。

二者的区别在于 URI 表示请求服务器的路径，定义这么一个资源。而 URL 同时要说明如何访问这个资源（http://）。

2. 通过本次课程实践，我复习了解了许多平时不常用的 C 语言函数：比如 snprintf 函数、fprintf 函数等等。

虽然没有与同学组队，但在本次课程设计中通过不断阅读相关文档、自己多次尝试与学习、请教助教老师、与同学讨论，我逐步实现了实验要求，在其中不仅增进了对 HTTP 协议等知识的理解，还增加了学习能力和抗压能力。很幸运能有这样一个机会，将课上所学的理论知识与实践相结合，在深入理解计算机网络及协议的同时，提高了代码能力和文档写作水平。

当然，不管是在这次的课程实验还是在过往的学习中，数不清自己经历过多少次在花了很多时间配置环境或编写代码后，进行测试后电脑屏幕上显示的却是冰冷的报错信息的情景。我也总是因此感觉心灰意冷，感慨计算机为什么总是给出模式化的报错信息，而不能帮我精准定位到出现错误的代码位置并且给出修改方案；也时常感叹自己掌握的知识还是太少了，还需要很多的学习和练习；但是我也发现现在针对一些简单的错误比如调用函数时函数名称多或少了一个字母，计算机已经可以实现我“精准定位到出现错误的代码位置并且给出修改方案”的畅想了。但不管怎样，我都将继续学习掌握更多的专业知识，多多动手实践，提高能力水平，希望未来有机会可以为广阔的知识海洋贡献属于自己的崭新的一滴水。